



PENGARUH SUHU DAN WAKTU *TEMPERING* TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN, DAN KETAHANAN ABRASIF BAJA COR MODIFIKASI CA-15

Ade Trya Aprilliansyah¹, Sunardi¹, Moch. Syaiful Anwar² dan Efendi Mabru²

¹*Teknik Mesin, FT. UNTIRTA,*

Jl. Jenderal Sudirman Km 03 Cilegon, Banten 42435

²*Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-LIPI*

Gedung 470 Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan. Indonesia

E-mail: moch026@lipi.go.id

ABSTRAK

Pada penelitian ini telah melakukan modifikasi material CA-15 dengan menambahkan unsur Mo dan Ni sebanyak masing-masing 3%. Tujuannya adalah untuk mengetahui pengaruh dari proses tempering dengan variasi suhu pemanasan dan waktu penahanan terhadap kekerasan, ketahanan abrasif, dan struktur mikro pada material modifikasi CA-15. Proses austenisasi pada temperatur 1100°C selama 3 jam dan dilakukan normalizing. Setelah proses austenisasi, kemudian dilanjutkan pada proses *tempering* dengan variasi suhu pemanasan dan waktu penahanan. Variasi suhu yang digunakan yaitu 300°C, 400°C, 500°C, 550°C, 600°C, 650°C, 700°C dan waktu tahan masing-masing selama 1 jam, 3 jam, dan 5 jam. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa terjadinya fenomena *secondary hardening* pada temperatur 400°C di waktu tahan 1 jam, 3 jam, dan 5 jam. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada waktu tahan 1 jam di temperatur 400°C dengan nilai 54.53 HRC. Struktur mikro yang terbentuk yaitu fasa martensit *lath*, fasa austenit, dan fasa ferit. Berdasarkan perhitungan statistik sederhana didapat 3 variasi terbaik, salah satunya terdapat pada temperatur 650°C dengan penahanan selama 1 jam yang merupakan variasi terbaik dari 2 variasi lainnya. Pada temperatur dan waktu tahan ini menghasilkan nilai kekerasan sebesar 49.67 HRC dan kehilangan berat terkecil 12.256 mg/cm². Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin keras suatu material belum tentu memiliki ketahanan abrasif yang baik begitupun sebaliknya. Hal ini disebabkan karena pengaruh dari jumlah karbida dan fasa austenit yang terbentuk selama dari proses perlakuan panas.

Kata kunci: Baja martensitik CA-15, tempering, abrasif, kekerasan, struktur mikro

ABSTRACT

This study has modified CA-15 material by adding Mo and Ni elements of 3% each. The aim is to determine the effect of the tempering process with variations in the heating temperature and the holding time for hardness, abrasive resistance, and microstructure in the modified CA-15 material. Austenisation process at a temperature of 1100°C for 3 hours and normalizing is carried out. After the austenization process, then proceed to the tempering process with variations in heating temperature and holding time. Temperature variations are used, namely 300°C, 400°C, 500°C, 550°C, 600°C, 650°C, 700°C and hold time of each for 1 hour, 3 hours and 5 hours. The results of this study indicate that the occurrence of secondary hardening phenomena at a temperature of 400°C at a time of 1 hour, 3 hours and 5 hours. The highest hardness value is found at a time of 1 hour at 400°C with a value of 54.53 HRC. The microstructure formed is the martensite lath phase, austenite phase, and ferrite phase. Based on simple statistical calculations, there are 3 best variations, one of which is at a temperature of 650°C with 1 hour holding which is the best variation of the other 2 variations. At this temperature and time of resistance it produces a hardness value of 49.67 HRC and

the smallest loss of weight is 12.256 mg / cm². The results of this study indicate that the harder the material is not necessarily to have good abrasive resistance and vice versa. This is due to the influence of the amount of carbide and the austenite phase formed during the heat treatment process.

Keywords: Martensitic steel CA-15, tempering, abrasive, hardness, micro structure

1. PENDAHULUAN

Turbin adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari aliran fluida. Sudu turbin merupakan bagian dari komponen pada turbin pembangkit listrik tenaga uap yang memiliki peran penting. Akan tetapi dalam penggunaannya, sering ditemukan kegagalan dikarenakan sudu turbin bekerja pada putaran yang tinggi dan lingkungan yang korosif [1]. Salah satu kerusakan yang terjadi pada akhirnya ini yaitu kausan abarasis menjadi masalah dalam komponen-komponen turbin uap [2].

Pada umumnya material yang digunakan untuk sudu turbin yaitu baja tahan karat martensitik seperti SS 410 sebagai bahan bakunya karena memiliki kekuatan, ketangguhan, ketahanan abrasive dan ketahanan korosi yang baik. Selain material tersebut, CA-15 juga termasuk dalam jenis baja tahan karat martensitik yang bisa digunakan untuk sudu turbin karena memiliki karakteristik yang *equivalen* dengan SS 410. Dalam pengembangan baja tahan karat martensitik tersebut banyak dilakukan penelitian dengan cara penambahan unsur Mo dan Ni bertujuan untuk meningkatkan ketahanan korosi dan sifat mekanik pada material yang dihasilkan.

Namun penambahan Mo dan Ni tidak berpengaruh terhadap morfologi karbida pada temperatur temper rendah, akan tetapi dapat meningkat ketahanan aus ketika temperatur temper diatas 350°C [2]. Oleh karena itu penulis melakukan penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu dan waktu temper terhadap baja cor modifikasi CA-15.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Baja tahan karat merupakan baja paduan yang mengandung unsur Cr minimum 12%. Baja tahan karat termasuk dalam baja paduan tinggi yang mempunyai sifat mampu bentuk yang baik, ketangguhan yang baik pada temperatur rendah maupun tinggi, mempunyai ketahanan korosi yang baik, juga mempunyai ketahanan mulur yang cukup besar pada temperatur tinggi. Karena sifatnya, maka baja ini banyak digunakan dalam

reaktor atom, turbin, mesin jet, pesawat terbang, alat rumah tangga dan lain-lainnya.

Stainless steel merupakan baja tahankarat yang sulit untuk bereaksi terhadap udara dan air karena memiliki kandungan kromium

[3]. CA-15 termasuk ke dalam *Martensitic Stainless Steel* (MSS) dimanamemiliki kualitas yang sangat baik seperti kekuatan, ketahanan korosi, dan ketahanan erosi, dan memiliki grade yang sama dengan baja tahan karat AISI 410. Material ini banyak digunakan pada tempat bertekanan tinggi dengan berbagai permasalahan seperti yang terdapat pada sudu turbin, bahan pipa atau tabung, bodi katup, dan baling-baling kapal [4].

Martensitic stainless steel memilikistruktur kristalbody *centered tetragonal* dengan tingkat krom yang rendah dan tingkat karbonnya tinggi, dengan mendapatkan struktur *austenitic* pada temperature tinggi kemudian didinginkan secara tiba-tiba untuk mengubah fase *austenitic* ke *martensite* [5]. Komposisi kimia yang terkandung pada CA-15 dapat kita lihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia CA-15 [4]

Unsur	C	Mn	Si	Cr	P	S	Ni	Fe
Berat %	0,15 max	1,0 max	1,5 max	11,5-14,0 max	0,04 max	0,04 max	1,0 max	Bal

Proses perlakuan panas pada baja tahan karat martensitik memiliki hal yang sama dengan perlakuan panas terhadap baja yang lainnya. Kekerasan dari baja tahan karat juga bergantung kepada kadar karbonnya, apabila kadar karbonnya tinggi maka kekerasan juga akan semakin tinggi. Sebaliknya apabila kadar karbonnya rendah maka kekerasan baja tahan karat akan semakin rendah.

Austenisasi merupakan suatu proses untuk menghasilkan struktur akhir yang lebih keras dengan memanaskan baja terlebih dahulu sehingga didapat fasa austenit (γ). Austenisasi merupakan tahap yang sangat kritis pada proses pengerasan dimana proses ini berdampak

terhadap proses pelarutan karbida ke dalam matriks austenit yang akan berubah pada pendinginan cepat menjadi martensit.

Pada proses *tempering*, sampel didinginkan menggunakan media udara. Hal ini dilakukan dikarenakan fasa martensit *temper* memiliki sifat-sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan fasa martensit.

3. METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa baja tahan karat martensitik modifikasi CA-15 3Mo-3Ni yang akan dibuat menjadi 22 sampel dengan bentuk silinder yang berdiameter 24 mm dan ketebalan 12 mm.

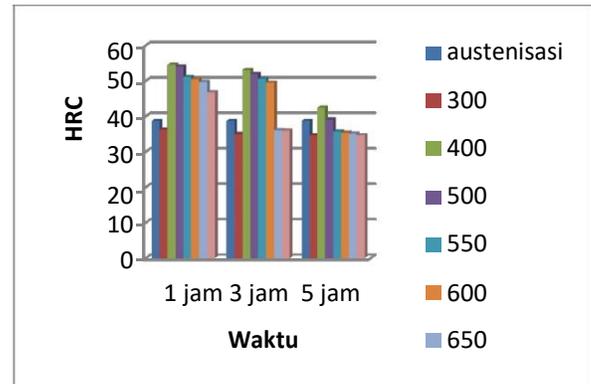
Pada awalnya sampel akan diberikan proses *austenisasi* dengan suhu 1100°C selama 3 jam, kemudian dilakukan pendinginan dengan media udara ruang. Setelah dilakukannya proses *austenisasi* sampel akan dilakukan proses *tempering* dengan variasi temperatur pemanasan dan waktu penahan kemudian diikuti dengan pendinginan udara. Setelah dilakukan proses *tempering*, sampel akan dilakukan beberapa proses pengujian. Pengujian pada penelitian ini yang akan dilakukan diantaranya yaitu metalografi, pengujian kekerasan, dan pengujian ketahanan abrasif.

Data hasil pengujian ini diperoleh dengan melakukan pengujian kekerasan sebanyak 3 kali pengukuran HRC, metalografi sebanyak 2 kali perbesaran (100x, dan 200x)

struktur mikro. Kemudian pengujian selanjutnya yaitu pengujian ketahanan abrasif menggunakan pembebanan 1 kg selama 1000 putaran dengan melakukan penimbangan berat awal dan akhir sebanyak 3 kali. Semua pengujian dalam penelitian ini dilakukan pada setiap sampel. Setelah mendapatkan data hasil dari pengujian akan dilakukan analisa dan kesimpulan.

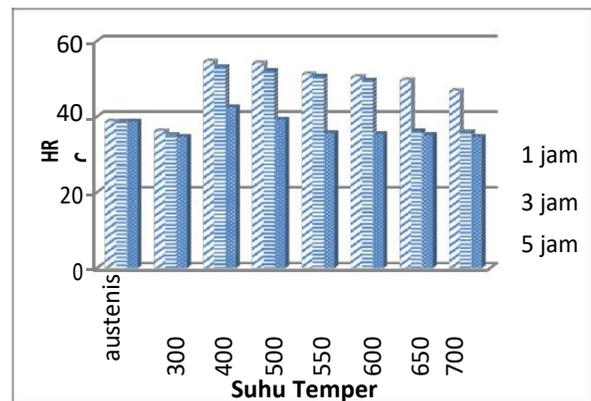
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Tahan *Tempering* Terhadap Nilai Kekerasan



Gambar 1 Grafik Waktu Terhadap Nilai Kekerasan

Pada Gambar 1 di atas dapat kita lihat dimana hubungan antara nilai kekerasan dengan waktu tahan dalam proses *tempering* yang menunjukkan semakin lama waktu tahan *tempering* kekerasan akan mengalami penurunan kekerasan.

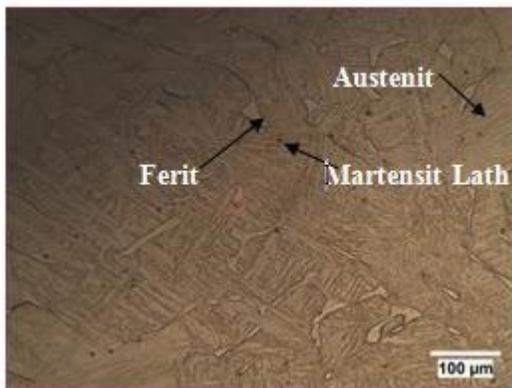


Gambar 2. Grafik Suhu Terhadap Nilai Kekerasan

Pada kondisi awal nilai kekerasan setelah *austenisasi* sebesar 38,7 HRC namun ketika dilakukan proses *tempering* nilai kekerasan mulai mengalami penurunan. Hal ini dapat kita lihat pada Gambar 2 dimana temperatur *temper* 300°C dengan waktu tahan 1 jam nilai kekerasan mengalami penurunan dari sebelumnya 38,7 HRC menjadi 36,23 HRC. Penurunan nilai kekerasan pada suhu *temper* 300°C tidak hanya terjadi pada waktu tahan 1 jam, hal ini juga terjadi pada waktu tahan 3 jam dan 5 jam.

Namun peningkatan nilai kekerasan terjadi ketika temperatur temper berada di 400°C baik dengan waktu tahan baik 1 jam, 3 jam dan 5 jam. Kenaikan nilai kekerasan tertinggi terjadi pada waktu tahan 1 jam di temperatur 400°C dengan nilai 54.53 HRC. *Range* peningkatan nilai kekekrasan yang dihasilkan dari temperatur 300°C ke 400°C ini cukup signifikan perbedaanya. Peningkatan nilai kekerasan yang terjadi pada temperatur 400°C ini disebabkan oleh terjadinya *secondary hardening*. Fenomena *secondary hardening* pada umumnya terjadi pada temperatur antara 400°C - 500°C karena terbentuknya terbentuknya karbida kromium dan karbida molibdenum [6]. Sehingga hal ini yang menyebabkan dimana pada temperatur 400°C mengalami peningkatan kekerasan. Pada grafik di atas dapat kita lihat juga dimana pada temperatur tempering 500°C - 700°C terjadi penurunan kekerasan. Hal ini sama seperti yang kita ketahui dimana semakin tinggi temperatur temper maka akan menurunkan nilai kekerasan.

B. Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Tempering Terhadap Struktur Mikro

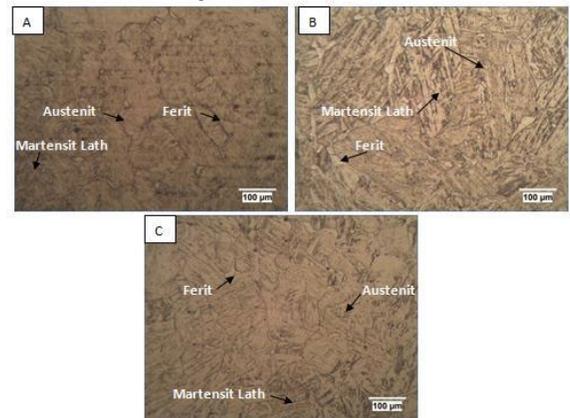


Gambar 3. Struktur Material Austenisasi pada Temperatur 1100°C Pendinginan Udara

Pada material CA-15 ini dilakukan proses austenisasi pada suhu 1100°C dan kemudian dilakukan pendinginan udara. Dimana menurut Efendi Mabururi [7](2015) mengatakan bahwa pada umumnya struktur

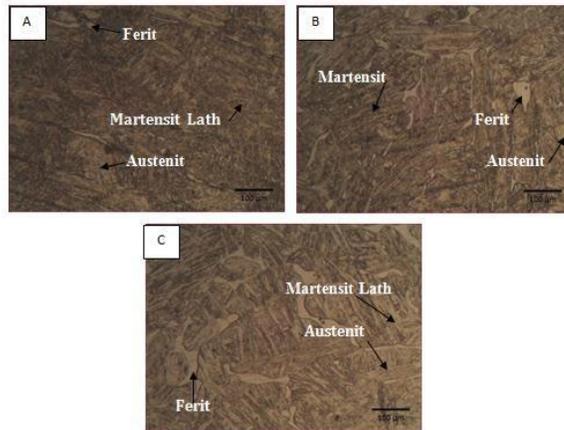
mikro yang terbentuk pada baja martensitik setelah proses tempering adalah fasa martensit berbentuk bilah (*lath*), ferit, karbida logam, austenit sisa, dan ferit delta.

Pada Gambar 3 struktur mikro yang terbentuk yaitu fasa martensit *lath* dengan kandungan karbida 37.59% dan terdapat beberapa fasa austenite dan fasa ferit. Sehingga pada material austenisasi ini memiliki nilai kekerasan rendah seperti pada pembahasan pengujian kekerasan sebelumnya dimana nilai kekerasan material austenisasi ini yaitu 38.7 HRC.



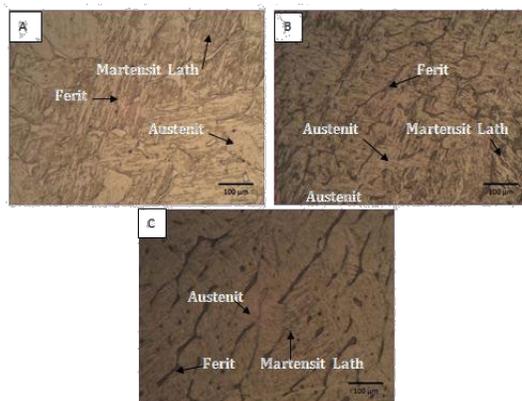
Gambar 4. Struktur Mikro Setelah Tempering pada Temperatur 300°C pembesaran 200x (a) Selama 1 jam, (b) Selama 3 jam, (c) Selama 5 jam.

Gambar 4 adalah sampel yang ditempering pada temperatur 300°C dan masing-masing ditahan selama 1 jam, 3 jam, dan 5 jam. Pada gambar tersebut dapat kita lihat fasa yang terbentuk yaitu terdapatnya fasa martensit *lath*, fasa austenit, dan terdapat fasa ferit. Pada gambar tersebut juga dapat kita lihat dimana fasa martensit *lath* mengalami penurunan jumlah dengan kandungan karbida pada gambar A 35.41% , B 34.30% dan C 30.83%.



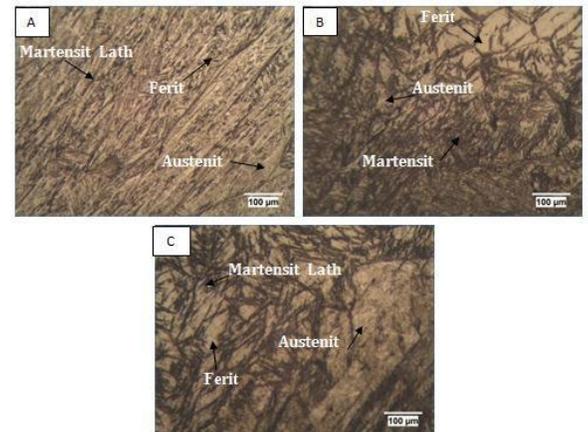
Gambar 5. Struktur Mikro Setelah *Tempering* Pada Temperatur 400°C Pembesaran 200x Selama (a) 1 jam, (b) 3 jam, dan (c) 5 jam

Gambar 5 a, b, c adalah struktur mikro dari material CA-15 yang telah dilakukan tempering pada suhu 400°C dengan waktu masing-masing 1 jam, 3 jam, dan 5 jam. Fasa yang terbentuk seperti pada gambar sebelumnya yaitu fasa martensit lath, fasa austenit, dan fasa ferit. Dapat kita lihat gambar tersebut berbeda dengan yang terjadi pada Gambar 5d, dimana seperti yang kita ketahui pada suhu temper 400°C terjadi peningkatan kekerasan yang disebabkan oleh *secondaryhardening*. Dimana pada suhu temper ini fasa martensit jumlahnya mengalami peningkatan dengan kandungan karbida A 60.24%, B 56.41%, C 48.89%. Sehingga nilai kekerasan pada temperatur temper 400°C memiliki nilai kekerasan terbesar dari temperatur lainnya yaitu di waktu tahan 1 jam dengan nilai 54.53 HRC.



Gambar 6. Struktur Mikro Setelah *Tempering* Pada Temperatur 600°C Pembesaran 200x Selama (a)1 jam, (b)3 jam, dan (c)5jam

Pada Gambar 6, temperatur temper 600°C struktur mikro yang terbentuk masih terlihat fasa martensit lath, fasa austenit, dan fasa ferit. Namun pada Gambar 6 mengalami perubahan yang cukup signifikan dibandingkan dengan pada Gambar 5. Perubahan tersebut dapat kita lihat jumlah fasa martensit lath mengalami penurunan yaitu dengan kadar karbida A 45.59%, B 40.90%, dan C 38.43%. Hal ini menunjukkan bahwa seiring meningkatnya temperatur temper dan waktu tahan menyebabkan terjadinya perubahan jumlah fasa martensit *lath* dan menurunkan nilai kekerasan pada material. Kemudian penambahan fasa austenite dan fasa ferit yang terjadi dengan meningkatnya temperatur temper ini menurut Hadi Perdana [6] fasa austenit akan bertambah pada temperatur tempering 500°C - 600°C. Hal ini dapat terjadi karena karbida logam yang sudah terbentuk pada temperatur tempering 400°C-500°C bertransformasi kembali menjadi fasa austenit sehingga menyebabkan fasa austenit bertambah.

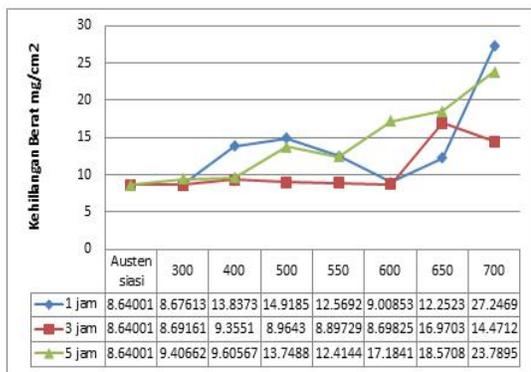


Gambar 7. Struktur Mikro Setelah *Tempering* Pada Temperatur 700°C Pembesaran 200x Selama (a) 1 jam, (b) 3 jam, dan (c) 5 jam

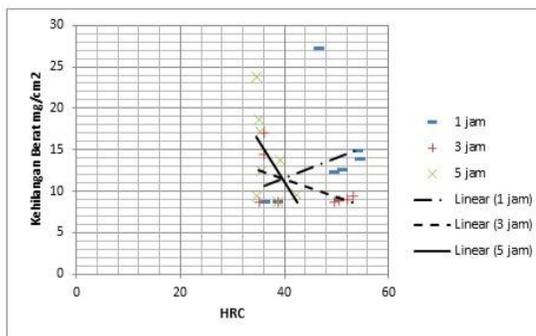
Gambar 7 a, b, c merupakan hasil tempering pada temperatur 700°C. Fasa yang terdapat

pada gambar di atas yaitu fasa martensit *lath*, fasa austenit, dan fasa ferit. Fasa martensit *lath* terlihat jelas mengalami penurunan jumlahnya dengan kadar karbida A 39.92%, B 38.79%, dan C 37.55%. Penurunan jumlah karbida ini disebabkan oleh terdekomposisinya karbida tersebut menjadi struktur fasa austenit akibat temperatur tempering terlalu tinggi. Sehingga hal tersebut menyebabkan gambar 4.7 memiliki nilai kekerasan yang terendah dari pada temperatur temper lainnya yaitu sebesar 34,73 HRC yang terdapat pada waktu penahanan 5 jam. Hal ini bisa terjadi dikarenakan pada umumnya waktu tahan yang digunakan pada proses tempering adalah 1 jam sampai 2 jam [8].

C. Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Tempering Terhadap Ketahanan Abrasif



Gambar 8. Grafik Nilai Ketahanan Abrasif Setelah Proses Tempering



Gambar 9. Grafik Hubungan Kekerasan Dengan Ketahanan Abrasif

Pada Gambar 8 menunjukkan hubungan antara nilai kekerasan dengan ketahanan abrasif. Secara umum kekerasan merupakan hal penting

dalam menentukan nilai ketahanan abrasif yang dihasilkan. Dimana semakin keras suatu material maka ketahanan abrasif yang dimiliki material tersebut akan semakin bagus. Hal ini dapat kita lihat pada gambar I dimana waktu tahan 3 jam dan 5 jam memiliki bentuk yang sama yaitu menunjukkan semakin tinggi kekerasan maka nilai kehilangan berat semakin kecil.

Namun pada waktu tahan 1 jam di Gambar 9 memiliki bentuk yang berbeda sendiri dengan waktu tahan 3 jam dan 5 jam. Pada waktu 1 jam dalam gambar di atas menunjukkan semakin tinggi nilai kekerasan yang dihasilkan semakin besar pula nilai kehilangan berat yang dihasilkan. Dimana fasa austenit dan karbida merupakan peran utama dalam menentukan nilai ketahanan abrasif dan nilai kekerasan yang dihasilkan. Sehingga hubungan antara kekerasan dengan ketahanan abrasif pada penelitian ini adalah semakin keras suatu material belum tentu memiliki ketahanan abrasif yang baik dan begitupun sebaliknya. Pada penelitian ini di suhu 600°C dengan waktu tahan 1 jam menghasilkan kehilangan berat sebesar 9.00853 mg/cm². Sedangkan pada penelitian sebelumnya nilai kehilangan berat yang didapat yaitu sebesar 43.13 mg/cm² pada suhu 625°C dengan waktu tahan 1 jam [2].

D. Variasi Suhu dan Waktu Terbaik dalam Penelitian

Menentukan variasi temperatur tempering dan waktu tahan terbaik dalam penelitian ini, dapat dicari dengan menggunakan metode statistik sederhana. Berdasarkan pada tabel 4.3 yang merupakan hasil perhitungan statistik sederhana didapatkan 3 variasi terbaik yaitu pada temperatur tempering 700oC yang ditahan selama 3 jam dan 5 jam dengan nilai kekerasan 35.93 HRC dan 34,73 HRC serta nilai kehilangan berat 14.476 mg/cm² dan 23.797 mg/cm². Selain pada temperatur 700oC, variasi terbaik juga terdapat pada temperatur 650oC yang dilakukan penahanan selama 1 jam dimana pada temperatur dan waktu tahan ini merupakan nilai kekerasan terbesar dengan nilai 49.67 HRC dan kehilangan berat terkecil 12.256 mg/cm².

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan data yang telah diuraikan pada bab sebelumnya maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan statistik sederhana yang telah dilakukan didapat 3 variasi terbaik yaitu pada temperatur tempering 700°C yang ditahan selama 3 jam dan 5 jam dengan nilai kekerasan 35.93 HRC dan 34,73 HRC serta nilai kehilangan berat 14.476 mg/cm² dan 23.797 mg/cm². Selain pada temperatur 700°C, terdapat juga pada temperatur 650°C yang dilakukan penahanan selama 1 jam dimana pada temperatur dan waktu tahan ini merupakan nilai kekerasan terbesar dengan nilai 49.67 HRC dan kehilangan berat terkecil 12.256 mg/cm².
2. Pengaruh dari variasi suhu dan waktu tahan pemanasan pada proses tempering terhadap kekerasan, ketahanan abrasif dan struktur mikro yaitu:
 - a. Dari pengujian didapat nilai kekerasan tertinggi yaitu sebesar 54.53 HRC yang terletak di temperatur 400°C dengan waktu tahan 1 jam. Sedangkan untuk nilai kekerasan terendah terletak pada temperatur 300°C dan waktu tahan 5 jam dengan nilai kekerasan 34.6 HRC.
 - b. Terjadinya peningkatan nilai kekerasan yang terjadi pada temperatur 300°C ke 400°C baik di waktu tahan 1 jam, 3 jam, dan 5 jam disebabkan oleh terjadinya fenomena *secondary hardening*.
 - c. Penurunan nilai kekerasan mulai terjadi pada temperatur 400°C sampai 700°C baik pada waktu 1 jam, 3 jam, dan 5 jam.
 - d. Struktur mikro yang terbentuk pada penelitian ini pada umumnya yaitu fasa martensit bilah, ferit dan fasa austenit.
 - e. Pada material asutenisasi kandungan karbida 37.59%, suhu 300°C kandungan karbida pada waktu tahan 1 jam 35.41% ; 3 jam 34.30% ; 5 jam 30.83%, suhu 400°C kandungan karbida 1 jam 60.24%; 3 jam 56.41%; 5 jam 48.89%, suhu 600°C kandungan

karbida 1 jam 45.59%; 3 jam 40.90%; 5 jam 38.43%, dan suhu 700°C kandungan karbida 1 jam 39.92%; 3 jam 38.79%; 5 jam 37.55%.

- f. Dari pengujian ketahanan abrasif kehilangan berat terbesar yaitu terdapat pada temperatur 700°C di waktu tahan 1 jam dengan nilai 27.2469 mg/cm². Sedangkan untuk nilai kehilangan berat sedikit terdapat pada temperatur 300°C dengan nilai 8.67613 mg/cm².
- g. Hasil pengujian ketahanan abrasif menunjukkan dimana pada waktu tahan 3 jam dan 5 jam nilai kehilangan berat semakin kecil dengan seiring bertambahnya nilai kekerasan. Namun pada waktu tahan 1 jam nilai kehilangan berat semakin besar dengan bertambahnya nilai kekerasan. Hal ini disebabkan pengaruh dari jumlah karbida dan fasa austenit yang terbentuk dari proses perlakuan panas. Dimana fasa austenit dan jumlah karbida memiliki peran penting dalam ketahanan abrasif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material (P2MM) LIPI yang telah memfasilitasi dan membimbing dalam pengujian melalui skema pendanaan Tematik 2018 dan terima kasih kepada jurusan teknik mesin UNTIRTA yang telah membimbing hingga proses penelitian selesai dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Mabruri, M. S. Anwar, S. Prifiharni, T. B. Romijarso, and B. Adjiantoro. "Tensile Properties of The Modified 13Cr Martensitic Stainless Steel." in *Proc. AIP Conference 1725*, pp. 020039-1-020039-5, 2016.
- [2] Moch. Syaiful Anwar dan Efendi Mabruri, "Ketahanan aus abrasif dari beberapa jenis modifikasi 13Cr baja tahan karat martensit," *Majalah Metalurgi*, vol. 30, no.3, pp.149-154, Desember 2015.
- [3] Callister W.D, 2001, *Fundamentals of Materials Science and Engineering*, Fifth Edition, United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- [4] Hwei-Yuan Teng, Cheng-Hsun. "Erosion Behavior of CA-15 Tempered Martensitic

- Stainless Steel.*” Materials Transactions, Vol. 44, No. 7 pp. 1480 to 1487, 2003
- [5] Davis, J. R. (2001). Alloying: Understanding the basics. Materials Park, OH: ASM International.
- [6] Hadi Perdana, Moch Syaiful Anwar, Andinnie Juniarsih, Efendi Mabruri. “Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Tempering Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro dan Laju Korosi Pada Baja Tahan Karat Martensitik 13Cr3Mo3Ni.” *Metalurgi*, vol. 32, no. 1, pp. 37-44, 2017.
- [7] E. Mabruri, M. S. Anwar, S. Prifiharni, T. B. Romijarso, and B. Adjiantoro. “Pengaruh Mo dan Ni Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Baja Tahan Karat Martensitik 13Cr.” *Metalurgi*, vol. 3, pp. 133-140, 2015.
- ASM International Handbook Committee, 1991, *Heat Treating*, ASM Metals Handbook, Volume 04, United States of America